

1. Mesdames et messieurs, je vous remercie de m'accueillir aujourd'hui et de me permettre de vous présenter le programme de recherche que je souhaite développer au sein du CNRS. Je débute par quelques considérations générales puis par un rappel des grandes lignes de mon parcours scientifique. Cela vous permettra de bien situer mon travail dans le panorama actuel, ainsi que de juger de l'adéquation de mes compétences avec la réalisation de ses objectifs principaux.

2. Comme vous le savez, le magnétisme est un phénomène d'origine purement quantique. Une description microscopique des interactions entre spins rend par exemple parfaitement compte des propriétés de l'ordre magnétique ainsi que de ses excitations élémentaires. Les propriétés magnétiques de la matière sont également sensibles à un niveau plus macroscopique. Ici, des interactions classiques –telles que le couplage dipolaire– expliquent la plupart des propriétés observées, comme la partition en domaines de taille finie. Le problème semble donc bien circonscrit.

3. Mais entre ces deux extrêmes, on trouve un monde bien différent, peuplé de textures magnétiques complexes dont la taille caractéristique se situe entre le nanomètre et le micromètre. J'en donne ici quelques exemples : monopoles dans les glaces de spin, skyrmions magnétiques et textures du type « hérisson ». Leurs dynamiques sont également singulières, et illustrées en bas de ce transparent. On sait aujourd'hui qu'une caractérisation fine des propriétés de ce type d'objets est la clef d'une compréhension accrue du comportement magnétique de la matière, ainsi que du développement de dispositifs innovants (notamment en technologie de l'information).

4. Bref, pour paraphraser Feynmann : « Il y a plein de place au milieu ! ». C'est précisément cet endroit que je veux investir. Mais comment appréhende-t-on les propriétés de ces textures si l'on souhaite les observer au cœur d'échantillons massifs ?

5. La technique privilégiée pour étudier leur structure est la diffusion de rayonnement (neutrons, rayons X) aux petits angles. Comme indiqué sur ce schéma, l'angle de diffusion est inversement proportionnel à la taille des objets que nous voulons étudier. Cette méthode renvoie donc des informations directes sur les ordres et corrélations magnétiques.

6.-8. La dynamique de ces objets s'étend par ailleurs sur des gammes de temps couvrant plusieurs décades. En restant dans le cadre d'échantillons massifs, les phénomènes les plus rapides sont observés par spectroscopie neutronique. A une échelle intermédiaire, la rotation du muon nous renseigne sur les fluctuations locales. Aux temps les plus longs, les phénomènes de relaxation sont abordés par des mesures macroscopiques de magnétométrie. J'ai acquis la maîtrise de l'ensemble de ces techniques au long de mon parcours scientifique...

9. ...qui a débuté par une thèse effectuée à l'Institut Nanosciences et Cryogénie du CEA Grenoble, sous la direction de Louis-Pierre Regnault. Le sujet concernait l'étude des propriétés structurales et dynamiques de systèmes magnétiques de basse dimension par diffusion neutronique, auprès de l'instrument IN22. Cette thèse a été l'occasion de développer la technique de l'écho de spin neutronique résonant, une méthode permettant de découpler la résolution en transfert d'énergie et de moment par rapport aux techniques conventionnelles. Autrement dit, on se donnait les moyens d'accéder à des détails subtils, jusqu'alors invisibles, tels que la durée de vie intrinsèque des excitations magnétiques !

10. C'est avec cette idée en tête que j'ai rejoint le Maier-Leibnitz Institute de Munich, où j'ai contribué au développement d'une méthode dérivée de l'écho de spin, appelée MIEZE. Cette dernière prolonge les capacités vers l'étude de structures mésoscopiques et dans des conditions extrêmes, notamment de champ magnétique et de pression. Je tiens à souligner que cette méthode porte aujourd'hui ses premiers fruits !

11. J'ai ensuite rejoint le Laboratoire Léon Brillouin pour y travailler sur la physique du magnétisme chiral et frustré. Depuis fin 2014, j'étudie les propriétés d'alliages magnétiquement ordonnés, de verres de spins réentrants et de glaces de spin. A cette fin, j'utilise abondamment la diffusion neutronique mais également la spectroscopie et la diffraction en synchrotron sous haute-pression et la rotation du spin du muon.

12. Depuis août 2016, j'exerce également la fonction de co-responsable de l'instrument de diffusion aux petits angles PA20 et suis en charge des activités en matière dure et magnétisme. Mon travail allie une recherche propre et une collaboration étroite avec les visiteurs scientifiques que j'accueille.

13. Pour résumer, mon profil est celui d'un physicien expérimentateur, spécialisé dans l'étude des relations entre structure et dynamique magnétique par diffusion de faisceaux quantiques (neutrons, rayons X et muons). A ce titre, j'attache une importance égale à la modélisation fine des données recueillies, aux liens avec la théorie et au développement de techniques nouvelles.

14. J'en arrive maintenant au cœur de mon programme de recherche. Il s'articule autour d'un axe central : celui des textures mésoscopiques complexes stabilisées lorsque l'on s'écarte localement des ordres magnétiques conventionnels et dont le rôle est crucial dans les propriétés et fonctionnalités des matériaux. Mon approche est essentiellement expérimentale et met à profit une utilisation couplée de sondes dans l'espace réciproque. Je me focalise plus particulièrement sur l'étude d'échantillons massifs car on peut aisément les soumettre à des conditions thermodynamiques extrêmes. Mon programme de recherche est découpé en trois thèmes, dont je vais maintenant détailler les points de départ et objectifs à court et moyen terme.

15. Mon premier thème de recherche s'intéresse à la physique des aimants chiraux. Il s'agit de composés cristallisant dans des structures non-centrosymétriques. Leurs propriétés magnétiques sont ainsi dominées par la compétition entre échange symétrique et couplage spin-orbite (type Dzyaloshinskii-Moriya), ce qui conduit à un ordre hélimagnétique à basse température et en champ nul. Je m'appuie ici sur l'exemple du composé MnGe. Son cas est aujourd'hui très débattu dans la littérature car on s'attend à y trouver des skyrmions, que l'on peut se représenter comme une boule hérissée de spins et projetée sur plan bidimensionnel. Ce point de vue est supporté par l'observation d'un effet Hall anormal (ou 'topologique') de grande amplitude mais ces skyrmions « putatifs » échappent à une mise en évidence directe.

16. Une approche spectroscopique révèle que l'état fondamental du matériau est régi par la présence d'excitations non-linéaires de grande amplitude –de type *soliton*– sur une large plage de température. Nous avons mis en évidence cette dynamique de façon directe par la mesure du temps de vie intrinsèque de l'ordre hélimagnétique. Cette étude a été réalisée grâce à la spectroscopie MIEZE, que j'avais contribué à développer plusieurs années auparavant. Cette étude offre clairement un nouveau regard sur la physique de ce composé et appelle à une investigation poussée de ses propriétés dynamiques, et de leur lien avec l'effet Hall topologique.

17. Je souhaite maintenant étudier l'évolution de ce spectre de fluctuations en fonction de la substitution des ions magnétiques. Cela me permettra de contrôler le régime de propagation des *solitons*, en limitant leur libre parcours moyen et en introduisant de la diffusivité. De même, il sera primordial de jauger l'influence d'un champ magnétique, qui devrait influencer la vitesse des quasi-particules.

18. J'ai souligné l'absence apparente de skyrmions dans le composé pur mais des résultats préliminaires montrent que ces derniers apparaissent lorsque l'on substitue les ions manganèse par

du rhodium. Un réseau de skyrmion est ici stabilisé sur une gamme de température exceptionnellement étendue.

19. Plus exotique encore, la diffusion de neutrons aux petits angles révèle qu'une nouvelle périodicité apparaît sous dopage. Ceci est très surprenant car on s'attendrait plutôt à une disparition continue de l'ordre magnétique lorsque tend vers le composé RhGe, un ferromagnétique faible aux propriétés supraconductrices.

20. A la place, nos résultats suggèrent l'existence d'une phase intermédiaire où la structure se fractionne en domaines hélimagnétiques séparés par des lignes de défauts magnétiques aux propriétés non-triviales.

21. Pour nommer cette phase, nous avons procédé par analogie avec la physique des cristaux liquides. Dans certaines variétés dites « cholestériques » (présentant un ordre hélicoïdal), la transition vers un état collinéaire (ou « smectique ») s'effectue via une phase où l'orientation de blocs smectiques varie de façon continue le long d'un axe. Cette phase est dite à « joints de grains torsadés » ou TGB, et nous baptisons la nouvelle phase des aimants chiraux TGB magnétique.

22. Je souhaite comprendre l'organisation spatiale de ces TGB magnétiques (s'arrangent-ils selon un réseau régulier ou sont-ils disposés de façon aléatoire ?) et étudier leur comportement critique (la façon dont ils disparaissent sous dopage), pour lesquels il n'existe pas encore de cadre théorique. Je veux également sonder la nature du réseau de skyrmions qui émerge d'un état fondamental non-homogène. De même, il me semble important de tester l'universalité de ce type de phase, en jouant sur les espèces chimiques substituées.

23. Mon deuxième thème s'intéresse à la possibilité d'obtenir des textures magnétiques compactes en l'absence de couplage spin-orbite. Pour cela, je considère les verres de spin, des alliages désordonnés dont les propriétés magnétiques sont déterminées par la frustration entre échange ferro- et antiferromagnétique, conduisant à un état vitreux à basse température. Dans l'exemple de l'alliage nickel-manganèse dont je vous donne ici le diagramme de phase, des paires manganèse-manganèse premiers voisins sont couplées antiferromagnétiquement et immergées dans une matrice ferromagnétique.

24. Lorsque l'on soumet l'échantillon à un champ magnétique, la diffusion neutronique révèle la formation de textures nanoscopiques. Cette carte indique que l'aimantation transverse au champ appliqué se compense sur une taille finie et on peut donc se représenter ces défauts comme des vortex de spin.

25. Ces derniers sont extrêmement robustes et résistent à des champs de plusieurs dizaines de Tesla. On peut également contrôler leur taille et densité en faisant varier l'intensité du champ appliqué. La description de ces objets est confortée par des simulations Monte-Carlo réalisées par notre collaborateur Andrey Leonov. On comprend ici que les vortex sont ancrés autour des paires antiferromagnétiques. Ces résultats restent évidemment limités puisqu'ils concernent un système unique. On sait toutefois que ces vortex n'ont pas besoin d'un réseau cristallin pour exister et sont également observables dans des systèmes amorphes. On conjecture donc que les seuls ingrédients nécessaires à leur apparition sont la frustration d'interaction associée à la rigidité de l'ordre ferromagnétique sous-jacent.

26-28. Se pose ainsi deux questions fondamentales : que se passe-t-il lorsque l'on franchit cette ligne pointillée? Les vortex se dissolvent-ils dans le désordre environnant ? Pouvons-nous observer des vortex analogues dans un environnement majoritairement antiferromagnétique ? Une fois ces

questions résolues, je souhaite également étudier leurs modes de dynamique propre (mouvements gyrotropes) qui doivent également être fonction de la frustration et du champ appliqué.

29. Mon troisième thème de recherche est plus prospectif. Il concerne la physique des alliages dits « invars » dont la propriété la plus remarquable est la quasi-annulation de leur coefficient de dilatation thermique sur une grande plage de température. Depuis les années 1960, le modèle qui fait autorité pour expliquer ce phénomène est le modèle à 2 états de Weiss. Il met en jeu des transitions de l'état de spin du fer qui viennent contrecarrer l'expansion thermique naturelle du matériau. Ce modèle implique une variation discontinue du volume lorsqu'on comprime le matériau, mais les données disponibles renvoient à plutôt à une évolution continue.

30. Afin de résoudre ce paradoxe, des calculs plus récents suggèrent une distribution d'états non-colinéaires, qui donne une courbe d'énergie continue et explique ainsi l'essentiel des caractéristiques magnéto-élastiques des invars. Ce modèle n'a pas encore reçu de confirmation expérimentale...

31. ...mais je compte m'attaquer à cette question en recherchant la présence de textures nanoscopiques dont la taille caractéristique devrait varier en fonction de la température ou de la pression. L'approche que je compte employer consiste à appliquer un champ magnétique à l'échantillon et vérifier l'anisotropie de l'orientation des spins. De ce point de vue, cette recherche est intimement liée à mes travaux sur les verres de spin. Si leur observation directe s'avère impossible, je prévois de me concentrer sur la dynamique de spin. Cette dernière devrait en effet être notablement différente entre le cas purement colinéaire (fluctuations longitudinales) et non-colinéaire (fluctuations transverses).

32. Mon programme de recherche est composé en thèmes qui sont pensés pour se répondre et s'enrichir. Je m'intéresse à des systèmes de natures *a priori* différentes, que je souhaite faire rentrer dans un champ lexical commun au travers du prisme des textures magnétiques mésoscopiques. Dans ce but, je pourrai compter sur un support théorique de premier plan, offert par des spécialistes internationaux avec lesquels je collabore déjà. De même, l'accès aux échantillons nécessaires à ma recherche sera garanti par l'implication de chimistes talentueux, en local ou à l'étranger.

33. Pour mener à bien mon programme de recherche, je souhaite intégrer le Laboratoire Léon Brillouin qui coordonne les activités liées à la diffusion neutronique sur le sol français. Il me fournit le parfait environnement scientifique et technique. Mes travaux s'inscrivent dans un contexte où se mêlent mutations et innovations techniques, que je souhaite accompagner. Comme je l'ai précisé plus tôt, je suis actuellement co-responsable du spectromètre PA20.

34. L'instrument sera relocalisé au Paul Scherrer Institut situé à Villigen en Suisse à l'horizon 2021. Ouvert à la communauté française, il me permettra de poursuivre mes travaux dans des conditions similaires à celles que je connais aujourd'hui.

35. Un autre projet d'outstation piloté par le LLB concerne l'installation d'un nouvel instrument de diffusion aux petits angles : le projet 'SAM', auquel je participe. Je souhaite notamment le doter d'une option MIEZE qui permettra des études dynamiques à haute-résolution et en conditions extrêmes. Je précise que le champ d'applications de 'SAM' va bien au-delà de la recherche en magnétisme, et recouvre également des activités en physique des matériaux, matière molle et biophysique.

36. A partir de 2023, nous allons assister à la montée en puissance de la nouvelle source de neutrons européenne, l'ESS. En offrant le flux neutronique le plus intense au Monde, cette dernière va permettre de travailler sur des échantillons plus petits, soumis à des hautes pressions au-delà des

limites actuelles (de l'ordre de 10 GPa), mais aussi d'approcher les propriétés des surfaces et couches minces (plus proches des applications potentielles).

37. Pour résumer, mes travaux vont pleinement utiliser l'environnement expérimental exceptionnel disponible en France et en Europe, qu'il s'agisse de sources de neutrons, de muons et de rayonnement synchrotron. Ces ressources, associées à un solide réseau de collaborateurs, sont les garants de la réussite de mes projets.

38. Je vous remercie de votre attention.